

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ  
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)



УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе

Документ подписан электронной подписью

Сертификат: 1с6сfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820  
Владелец: Троян Павел Ефимович  
Действителен: с 19.01.2016 по 16.09.2019

Г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
МЕТОДЫ АНАЛИЗА И КОНТРОЛЯ  
НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ И СИСТЕМ

Уровень основной

образовательной программы бакалавриат

Направления подготовки 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»

Направленность (профиль) программы Микроэлектроника и твердотельная электроника

Форма обучения очная

Факультет электронной техники (ФЭТ)

Кафедра физической электроники (ФЭ)

Курс 4

Семестр 7

Учебный план набора 2015 года.

Распределение рабочего времени:

| №   | Виды учебной работы                          | Семестр 1 | Семестр 2 | Семестр 3 | Семестр 4 | Семестр 5 | Семестр 6 | Семестр 7 | Семестр 8 | Всего | Единицы |
|-----|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|---------|
| 1.  | Лекции                                       |           |           |           |           |           |           | 36        |           | 36    | часа    |
| 2.  | Лабораторные работы                          |           |           |           |           |           |           | 16        |           | 16    | часов   |
| 3.  | Практические занятия                         |           |           |           |           |           |           | 20        |           | 20    | часов   |
| 4.  | Курсовой проект/работа (КРС) (аудиторная)    |           |           |           |           |           |           | -         |           | -     | часов   |
| 5.  | Всего аудиторных занятий (Сумма 1-4)         |           |           |           |           |           |           | 72        |           | 72    | часов   |
| 6.  | Из них в интерактивной форме                 |           |           |           |           |           |           | 6         |           | 6     | часов   |
| 7.  | Самостоятельная работа студентов (СРС)       |           |           |           |           |           |           | 72        |           | 72    | часов   |
| 8.  | Всего (без экзамена) (Сумма 5,7)             |           |           |           |           |           |           | 144       |           | 144   | часов   |
| 9.  | Самост. работа на подготовку, сдачу экзамена |           |           |           |           |           |           | 36        |           | 36    | часов   |
| 10. | Общая трудоемкость (Сумма 8,9)               |           |           |           |           |           |           | 180       |           | 180   | часов   |
|     | (в зачетных единицах)                        |           |           |           |           |           |           | 5         |           | 5     | ЗЕ      |

Экзамен 7 семестр

Томск 2016

### Лист согласований

Рабочая программа составлена с учетом требований Федерального Государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» (квалификация (степень) бакалавр), утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 12 марта 2015 г. № 218, рассмотрена и утверждена на заседании кафедры физической электроники от «\_\_» \_\_\_\_\_ 201\_\_ г., протокол № \_\_\_\_\_.

#### Разработчик:

Профессор кафедры ФЭ \_\_\_\_\_ / С.В. Смирнов

Доцент кафедры ФЭ \_\_\_\_\_ / И.А.Чистоедова

#### Заведующий кафедрой

Профессор кафедры ФЭ \_\_\_\_\_ / П.Е. Троян

Рабочая программа согласована с факультетом, профилирующей и выпускающей кафедрами направления подготовки.

Декан \_\_\_\_\_ ФЭТ \_\_\_\_\_ / А.И. Воронин

Зав. профилирующей  
кафедрой \_\_\_\_\_ ФЭ \_\_\_\_\_ / П.Е. Троян

Зав. выпускающей  
кафедрой \_\_\_\_\_ ФЭ \_\_\_\_\_ / П.Е. Троян

#### Эксперты:

Председатель методической  
комиссии факультета ФЭТ \_\_\_\_\_ / И.А.Чистоедова

Председатель методической  
комиссии кафедры ФЭ \_\_\_\_\_ / И.А. Чистоедова

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины «Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем» является формирование знаний в области экспериментальных методов исследования состава, структуры, физико-химических, оптических и спектральных свойств наноматериалов и наносистем, усвоение фундаментальных принципов, на которых строится функционирование приборов для исследований, формирование у обучающихся общепрофессиональных и профессиональных компетенций.

Задачей изучения дисциплины является знакомство с конструкцией исследовательской аппаратуры, условиями эксплуатации, современными методами исследований, освоение студентами основных принципов работы с приборами, получение практических навыков при проведении исследований.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

В соответствии с ОПОП дисциплина «Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем» относится к вариативной части образовательной программы бакалавриата по направлению 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника» (Б1.В.ОД.10).

Изучение данной дисциплины базируется на знании следующих дисциплин: математика, физика, химия, квантовая механика, физика конденсированного состояния, физика полупроводников, технология материалов микро- и нанoeлектроники.

Основные положения дисциплины должны быть использованы в дальнейшем при изучении следующих дисциплин: технология кремниевой нанoeлектроники, процессы микро- и нанотехнологии.

## 3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**3.1. Изучение дисциплины направлено на формирование у бакалавров следующих *общепрофессиональных (ОПК)* и *профессиональных (ПК)* компетенций:**

- способностью использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных (ОПК-5);
- способностью аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения (ПК-2).

**3.2. В результате изучения дисциплины бакалавр должен:**

**знать:**

физические принципы основных экспериментальных методов исследования материалов и структур, используемых в физике и технологии нанoeлектроники, условия реализации и границы применения этих методов; тенденции развития методов характеристики материалов и структур нано- и микросистем;

**уметь:**

выбирать оптимальные методы исследования и диагностики необходимых свойств нано- и микросистем;

**владеть:**

методами эффективного поиска информации по современным методам исследований, о перспективных направлениях развития устройств для изучения и анализа наноструктур.

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц.

| Вид учебной работы  | Всего часов | Семестры   |
|---|-------------|------------|
|   |             | 7          |
| <b>Аудиторные занятия (всего)</b>                                       | <b>72</b>   | <b>72</b>  |
| В том числе:  |             | -          |
| Лекции  | 36          | 36         |
| Лабораторные работы   | 16          | 16         |
| Практические занятия  | 20          | 20         |
| <b>Самостоятельная работа (всего)</b>                                   | <b>108</b>  | <b>108</b> |
| В том числе:  |             | -          |
| Проработка лекционного материала при подготовке к практическим занятиям | 10          | 10         |
| Подготовка к лабораторным работам и оформление отчетов и защита         | 24          | 24         |
| Подготовка к контрольной работе, тестированию                           | 10          | 10         |
| Выполнение индивидуального задания                                      | 10          | 10         |
| Выполнение индивидуального задания                                      | 18          | 18         |
| Вид промежуточной аттестации (экзамен)                                  | 36          | 36         |
| <b>Общая трудоемкость, час</b>  | <b>180</b>  | <b>180</b> |
| Зачетные Единицы  | <b>5</b>    | <b>5</b>   |

#### 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### 5.1. Разделы дисциплин и виды занятий

| № п/п | Наименование раздела дисциплины                                    | Лекции | Лабораторные работы | Практич. занятия. | Самост. работа студента | Всего час | Формируемые компетенции (ОК, ПК, ПСК) |
|-------|--|--------|---------------------|-------------------|-------------------------|-----------|---------------------------------------|
| 1.    | Введение   | 1      | -                   | -                 | -                       | 1         | ОПК-5, ПК-2                           |
| 2.    | Объекты и методы исследований                                      | 4      | -                   | 1                 | 8                       | 13        | ОПК-5, ПК-2                           |
| 3.    | Электрические и электрохимические методы исследований наноструктур | 4      | 4                   | 4                 | 19                      | 34        | ОПК-5, ПК-2                           |
| 4.    | Оптические методы исследования                                     | 5      | 4                   | 7                 | 19                      | 35        | ОПК-5, ПК-2                           |
| 5.    | Рентгеновские методы исследования структуры и состава материалов   | 5      | -                   | 1                 | 14                      | 20        | ОПК-5, ПК-2                           |
| 6.    | Ядерно-физические методы анализа                                   | 4      | -                   | 1                 | 14                      | 19        | ОПК-5, ПК-2                           |
| 7.    | Электронная и ионная микроскопия                                   | 5      | 4                   | 1                 | 10                      | 20        | ОПК-5, ПК-2                           |
| 8.    | Атомно-силовая и туннельная микроскопия                            | 5      | 4                   | 1                 | 15                      | 25        | ОПК-5, ПК-2                           |
| 9.    | Подготовка образцов и эксплуатация аналитических комплексов        | 3      | -                   | 1                 | 9                       | 13        | ОПК-5, ПК-2                           |

##### 5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

| № п/п | Наименование разделов         | Содержание разделов  | Трудоемкость (час.) | Формируемые компетенции (ОК, ОПК, ПК, ПСК) |
|-------|-------------------------------|--|---------------------|--|
| 1.    | Введение                      | Предмет дисциплины и ее задачи. Связь дисциплины с другими разделами физики. Современное состояние и перспективы развития физических методов исследований. | 1                   | ОПК-5, ПК-2                                |
| 2.    | Объекты и методы исследований | Исследуемые свойства нано- и микроструктур и методы их контроля. Структурные дефекты и мето-   | 4                   | ОПК-5, ПК-2                                |

|    |  |  |   |             |
|----|--|--|---|-------------|
|    |  | ды их исследований. Влияние дефектов на электрические, оптические, тепловые и механические свойства материалов.  |   |             |
| 3. | Электрические и электрохимические методы исследований наноструктур | Электропроводность. Концентрация носителей заряда. Подвижность носителей. Время жизни неравновесных носителей. Поверхностная проводимость и поверхностная концентрация носителей заряда. Вольт-фарадные характеристики полупроводниковых структур. Исследование электрохимических процессов на поверхности структур. Полярография.   | 4 | ОПК-5, ПК-2 |
| 4. | Оптические методы исследования                                     | Электронная спектроскопия. Молекулярная спектроскопия. Спектроскопия рамановского рассеяния. Эллипсометрия. Оптическая микроскопия. Оптическая профилометрия поверхности структур. Конструкция и характеристики некоторых устройств.   | 5 | ОПК-5, ПК-2 |
| 5. | Рентгеновские методы исследования структуры и состава материалов   | Физические основы методов. Рентгенофазный, рентгеноспектральный методы. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия. Конструкция и устройство аппаратуры для рентгенофазового и рентгеноспектрального (электроннозондового) анализа.   | 5 | ОПК-5, ПК-2 |
| 6. | Ядерно-физические методы анализа                                   | Методы оже-спектроскопии, масс-спектроскопия вторичных ионов и методы обратного резерфордского рассеяния. Измерение концентрации концентрационных профилей. Аппаратурная реализация.   | 4 | ОПК-5, ПК-2 |
| 7. | Электронная и ионная микроскопия                                   | Просвечивающая и растровая электронная микроскопия. Сканирующая ультразвуковая микроскопия. Аппаратурная реализация.   | 5 | ОПК-5, ПК-2 |
| 8. | Атомно-силовая и туннельная микроскопия                            | Устройство и физические принципы работы сканирующего туннельного микроскопа (СТМ). Вольт-амперная характеристика туннельного контакта метал – вакуум - металл. Формула Симмонса. Контраст работы выхода в СТМ. Устройство и физические основы работы оптико-механического атомно-силового сенсора в контактом режиме. Применение СЗМ для исследования пространственного распределения температуры поверхности твердых тел и микроэлектронных приборов. Методы визуализации СЗМ изображений. Статический анализ СЗМ данных. | 5 | ОПК-5, ПК-2 |
| 9. | Подготовка образцов и эксплуатация аналитических комплексов        | Подготовка образцов и эксплуатация аналитических комплексов  | 3 | ОПК-5, ПК-2 |

### 5.3. Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами

| № п/п                            | Наименование обеспечивающих (предыдущих) и обеспечиваемых (последующих) дисциплин | № № разделов данной дисциплины из табл.5.1, для которых необходимо изучение обеспечивающих (предыдущих) и обеспечиваемых (последующих) дисциплин |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
|----------------------------------|---|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|
|                                  |   | 1  | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |   |  |
| <b>Предшествующие дисциплины</b> |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| 1.                               | Математика  |  |   |   |   |   |   |   | + |   |   |  |
| 2.                               | Физика  | +  |   | + | + |   |   |   | + |   |   |  |
| 3.                               | Химия   |  |   | + | + | + | + | + | + |   |   |  |
| 4.                               | Квантовая механика  | +  | + |   |   |   |   |   | + | + |   |  |
| 5.                               | Физика конденсированного состояния  | +  |   | + | + | + | + |   |   | + | + |  |
| 6.                               | Физика полупроводников  | +  | + |   |   | + | + |   |   | + | + |  |
| 7.                               | Технология материалов микро- и нанoeлектроники                                    |  | + |   | + | + |   |   | + |   | + |  |

| Последующие дисциплины |                                       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
|------------------------|---------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|
| 1.                     | Технология кремниевой наноэлектроники | + | + | + | + | + | + | + |   | + |  |
| 2.                     | Процессы микро- и нанотехнологии      | + | + |   |   | + | + |   | + |   |  |

#### 5.4. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

| Перечень компетенций | Виды занятий |    |     | Формы контроля  |
|----------------------|--------------|----|-----|---|
|                      | Л            | Пр | СРС |   |
| ОПК-5                | +            | +  | +   | Решение задач на практических занятиях. Допуск к ЛР. Защита отчета по ЛР. Проверка контрольных работ, результаты теста. Защита индивидуального задания  |
| ПК-2                 | +            | +  | +   | Решение задач на практических занятиях. Допуск к ЛР. Защита отчета по ЛР. Проверка контрольных работ, результаты теста. Защита индивидуального задания. |

### 6. МЕТОДЫ И ФОРМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ

#### Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий в часах

| Методы                      | Формы | Лекции (час) | Практические занятия (час) | Всего |
|-----------------------------|-------|--------------|----------------------------|-------|
|                             | Тесты |              | 6                          | 6     |
| Итого интерактивных занятий |       |              | 6                          | 6     |

### 7. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

| № п/п | № раздела дисциплины | Тематика лабораторных работ  | Трудоемкость (час.) | Компетенции ОК, ОПК, ПК, ПСК |
|-------|----------------------|--|---------------------|------------------------------|
| 1.    | 3                    | Исследования профиля распределения концентрации в полупроводниковых наноструктурах.  | 4                   | ОПК-5, ПК-2                  |
| 2.    | 4                    | Исследование оптических и геометрических свойств тонкослойных диэлектрических материалов с помощью спектральной эллипсометрии. | 4                   | ОПК-5, ПК-2                  |
| 3.    | 7                    | Исследование состава и структуры тонких пленок с помощью электронной растровой микроскопии.                                    | 4                   | ОПК-5, ПК-2                  |
| 4.    | 8                    | Исследование топологии наноструктур с помощью оптической и атомно-силовой микроскопии.   | 4                   | ОПК-5, ПК-2                  |

### 8. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ (СЕМИНАРЫ)

| № п/п | № раздела дисциплины | Тематика практических занятий   | Трудоемкость (час.) | Компетенции ОК, ОПК, ПК, ПСК |
|-------|----------------------|---|---------------------|------------------------------|
| 1.    | 3                    | Расчет удельного сопротивления и концентрации носителей заряда.                           | 1                   | ОПК-5, ПК-2                  |
| 2.    | 3                    | Определение концентрации и подвижности носителей заряда методом Холла.                    | 1                   | ОПК-5, ПК-2                  |
| 3.    | 3                    | Определение удельного сопротивления и концентрации носителей заряда методом Ван дер Пау.  | 1                   | ОПК-5, ПК-2                  |
| 4.    | 3                    | Определение удельного сопротивления эпитаксиальных структур четырехзондовым методом.      | 2                   | ОПК-5, ПК-2                  |
| 5.    | 3                    | Определение концентрации свободных носителей заряда методом вольт-фарадных характеристик. | 1                   | ОПК-5, ПК-2                  |
| 6.    | 3                    | Определение эффективной массы.  | 1                   | ОПК-5, ПК-2                  |
| 7.    | 4                    | Определение свойства кристаллов.  | 1                   | ОПК-5, ПК-2                  |
| 8.    | 4                    | Определение концентрации носителей методом  | 2                   | ОПК-5, ПК-2                  |

|     |     |  |   |             |
|-----|-----|--|---|-------------|
|     |     | ИК-эллипсометрии.  |   |             |
| 9.  | 4   | Просветляющие покрытия.  | 1 | ОПК-5, ПК-2 |
| 10. | 4   | Отражение поляризованного света.   | 1 | ОПК-5, ПК-2 |
| 11. | 4   | Люминесценция.   | 1 | ОПК-5, ПК-2 |
| 12. | 4   | Эллипсометрия.   | 1 | ОПК-5, ПК-2 |
| 13. | 5   | Рентгеновские методы исследования кристаллической структуры.                 | 1 | ОПК-5, ПК-2 |
| 14. | 6   | Методы обратного резерфордского рассеяния и масс-спектропии вторичных ионов. | 1 | ОПК-5, ПК-2 |
| 15. | 2-9 | Контрольная работа. Тест.  | 4 | ОПК-5, ПК-2 |

## 9. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

| № п/п | № раздела дисциплины | Тематика самостоятельной работы<br>(детализация)                        | Трудоемкость<br>(час.) | Компетенции<br>ОК, ПК, ПСК | Контроль выполнения<br>работы                |
|-------|----------------------|---|------------------------|----------------------------|--|
| 1.    | 3-6                  | Проработка лекционного материала при подготовке к практическим занятиям | 20                     | ОПК-5, ПК-2                | Решение задач на практических занятиях       |
| 2.    | 3, 4, 7, 8           | Подготовка к лабораторным работам и оформление отчетов и защита         | 24                     | ОПК-5, ПК-2                | Допуск к ЛР. Защита отчета по ЛР             |
| 3.    | 2-9                  | Подготовка к контрольной работе, тестированию                           | 10                     | ОПК-5, ПК-2                | Проверка контрольных работ, результаты теста |
| 4.    | 2-9                  | Выполнение индивидуального задания                                      | 18                     | ОПК-5, ПК-2                | Защита индивидуального задания               |
| 5.    | 2-9                  | Подготовка и сдача экзамена   | 36                     | ОПК-5, ПК-2                | Оценка за экзамен                            |

### Тематика индивидуальных заданий:

- Разработка фотоприемного устройства для спектроскопии.
- Метод исследования оптических свойств тонких слоев SiO<sub>2</sub> в инфракрасной области спектра.
- Исследование МДП наноструктур методом вольт-фарадных характеристик.
- Разработка устройства для лазерной эллипсометрии.
- Разработка устройства для рамановской спектроскопии.
- Устройство для оптической спектроскопии.
- Исследование гранулометрического состава нанопорошков люминофора.
- Исследование полупроводниковых наногетероструктур GaN.
- Исследование многослойных тонкопленочных наноструктур металл- SiO<sub>2</sub>-металл.
- Исследование гранулометрического состава нанопорошков люминофора.
- Оценка погрешности измерений параметров нанобъектов методом растровой электронной микроскопии.
- Оценка погрешности измерений параметров нанобъектов методом ИК Фурье-спектроскопии.
- Оценка погрешности измерений параметров нанобъектов методом Рамановской спектроскопии.
- Оценка погрешности измерений параметров нанобъектов методом спектральной эллипсометрии.

Темы и варианты контрольных работ приведены в учебно-методическом пособии по аудиторным практическим занятиям (п. 12.3.10).

## 10. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) (не предусмотрено)

## 11. РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ УСПЕВАЕМОСТИ СТУДЕНТОВ

Таблица 11.1. Балльные оценки для элементов контроля

| Элементы учебной деятельности               | Максимальный балл на 1-ую КТ с начала семестра | Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ | Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра | Всего за семестр |
|---|--|---|---|------------------|
| Выполнение практических заданий             | 4  | 4   | 4   | 12               |
| Контрольная работа, тест                    | 10   |   | 10  | 20               |
| Выполнение лабораторных работ               |  | 10  | 10  | 20               |
| Выполнение и защита индивидуального задания |  | 12  |   | 12               |
| Компонент своевременности                   | 2  | 2   | 2   | 6                |
| <b>Итого максимум за период:</b>            | <b>16</b>                                      | <b>28</b>                                   | <b>26</b>   | <b>70</b>        |
| <b>Сдача экзамена (максимум)</b>            |  |   |   | <b>30</b>        |
| <b>Нарастающим итогом</b>                   | <b>16</b>                                      | <b>44</b>                                   | <b>70</b>   | <b>100</b>       |

Таблица 11.2. Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

| Баллы на дату контрольной точки                       | Оценка |
|---|--------|
| ≥ 90 % от максимальной суммы баллов на дату КТ        | 5      |
| От 70% до 89% от максимальной суммы баллов на дату КТ | 4      |
| От 60% до 69% от максимальной суммы баллов на дату КТ | 3      |
| < 60 % от максимальной суммы баллов на дату КТ        | 2      |

Таблица 11.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

| Оценка (ГОС)                          | Итоговая сумма баллов, учитывает успешно сданный экзамен | Оценка (ECTS)           |
|---------------------------------------|--|-------------------------|
| 5 (отлично) (зачтено)                 | 90 – 100   | A (отлично)             |
| 4 (хорошо) (зачтено)                  | 85 – 89  | B (очень хорошо)        |
|                                       | 75 – 84  | C (хорошо)              |
|                                       | 70 – 74  | D (удовлетворительно)   |
| 3 (удовлетворительно) (зачтено)       | 65 – 69  | E (посредственно)       |
|                                       | 60 – 64  | F (неудовлетворительно) |
| 2 (неудовлетворительно), (не зачтено) | Ниже 60 баллов   | F (неудовлетворительно) |

## 12. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 12.1 Основная литература

12.1.1. Смирнов С.В. Методы и оборудование контроля параметров технологических процессов производства наногетероструктур и наногетероструктурных монокристаллических интегральных схем: учебное пособие. - Томск: ТУСУР, 2010. - 115 с. (6)

12.1.2. Смирнов С.В. Методы и оборудование контроля параметров технологических процессов производства наногетероструктур и наногетероструктурных монокристаллических интегральных схем: учебное пособие. – Томск: ТУСУР, 2010. – 115 с. – [электронный ресурс]. – <https://edu.tusur.ru/publications/535>

12.1.3. Смирнов С.В. Методы исследования материалов и структур электроники: учебное пособие. – Томск: ТУСУР, 2007. – 170 с. (96)

### 12.2 Дополнительная литература

12.2.1. Брандон Д., Капран У. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля: Учебное пособие для вузов: Пер. с англ.; ред. Пер.: С.Л. Баженов; авт. Дополнения: О.В. Егорова. – М.: Техносфера, 2006. – 377 с. (5)

12.2.2. Вудраф Д., Делчар Т. Современные методы исследования поверхности: научное издание. – М.: Мир, 1989. – 564 с. (5)

12.2.3. Анализ поверхности методами оже- и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии : Монография: Пер. с англ. / М.П. Сих [и др.]; ред.: Д. Бриггс, М.П. Сих; ред. Пер.: В.И. Раховский, И.С.



Рез. – М.: Мир, 1987. – 598 с. (2)

12.2.4. Вилков Л.В., Пентин Ю.А. Физические методы исследования в химии: Резонансные и электрооптические методы: учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1989. – 288 с. (1)

### **12.3 Учебно-методические пособия и программное обеспечение**

12.3.1. Смирнов С.В. Методы исследования материалов и структур электроники: лабораторный практикум для студентов специальности 210104 «Микроэлектроника и твердотельная электроника». – Томск: ТУСУР, 2007. – 58 с. (50)

12.3.2. Смирнов С.В. Методы и оборудование контроля параметров технологических процессов производства наногетероструктур и наногетероструктурных монокристаллических интегральных схем: лабораторный практикум. – Томск: ТУСУР, 2010. – 97 с. – [электронный ресурс]. – <http://edu.tusur.ru/training/publications/536>

12.3.3. Методы исследования материалов и структур электроники [Текст] : учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе для студентов специальности 210104.65 "Микроэлектроника и твердотельная электроника", направления 210100.62 "Электроника и микроэлектроника", направления 222900.62 "Нанотехнологии и микросистемная техника", 210100.62 "Электроника и нанотехнология", 210600.62 "Нанотехнология" / С. В. Смирнов, И. А. Чистоедова ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (Томск), Кафедра физической электроники. - Томск : ТУСУР, 2012. - 52 с. (45)

### **12.4 Программное обеспечение**

12.4.1. Математический пакет MathCAD или Mathematica.

12.4.2. Офисные программы Microsoft Office или Open Office.

### **12.5 Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

12.5.1. Свободная энциклопедия «Википедия» - <http://ru.wikipedia.org/>;

12.5.2. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU – <http://elibrary.ru/defaultx.asp>;

12.5.3. сайт «О нанотехнологиях #1 в России» - <http://www.nanonewsnet.ru/>;

12.5.4. Сайт «Нанотехнологии. Инновации. Нано в России, в мире» - [http://www.rusnano.ru/index.php\\$](http://www.rusnano.ru/index.php$)

12.5.5. База данных Федерального интернет-портала «Нанотехнологии и наноматериалы» - <http://www.portalnano.ru/read/databases;>

12.5.6. Сайт журнала «Нано- и микросистемная техника» - <http://www.microsystems.ru/links.php>.

## **13. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

13.1. Оптический УФ спектрометр USB2000.

13.2. ИК Фурье-спектрометр Infalum FT-801 с приставкой на отражение.

13.3. Монохроматор МДР-23.

13.4. Спектральный лазерный эллипсомер Эллипс-1891 САГ.

13.5. Растровый электронный микроскоп Hitachi TM-1000 с микроанализатором Bruker Quantax 50EDX.

13.6. Рамановский спектрометр Avantes-532TEC.

13.7. Атомно-силовой микроскоп Certus Optic U с совмещенным оптическим микроскопом.

13.8. Измеритель параметров полупроводниковых приборов Метроном-03.

13.9. Микроинтерферометр Линника МИИ-4М.

13.10. Цифровой RLC-метр Protek 9216A.

13.11. Измеритель иммитанса МНИПИ Е7-20.

---

**Приложение к рабочей программе**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИО-  
ЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)  
**УТВЕРЖДАЮ**  
Проректор по учебной работе  
\_\_\_\_\_ П. Е. Троян  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г.

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**  
**Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем**

Уровень основной образовательной программы бакалавриат

Направление(я) подготовки (специальность)

11.03.04 Электроника и микроэлектроника \_\_\_\_\_

Профиль(и) Микроэлектроника и твердотельная электроника \_\_\_\_\_

Форма обучения очная

Факультет электронной техники (ФЭТ)

Кафедра физической электроники (ФЭ) \_\_\_\_\_

Курс 4 Семестр 7

Учебный план набора 2015 года

Зачет \_\_\_\_\_ семестр

Диф. зачет \_\_\_\_\_ семестр

Экзамен 7 семестр

Разработчики: профессор кафедры Смирнов С.В.

доцент кафедры ФЭ Чистоедова И.А.

Томск 2016

# 1 Введение

Фонд оценочных средств (ФОС) является приложением к рабочей программе дисциплины «Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем» и представляет собой совокупность контрольно-измерительных материалов (типовые задачи (задания), контрольные работы, тесты и др.) и методов их использования, предназначенных для измерения уровня достижения студентом установленных результатов обучения.

ФОС по дисциплине «Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем» используется при проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации студентов.

Перечень закрепленных за дисциплиной «Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем» компетенций приведен в таблице 1.

**Таблица 1 – Перечень закрепленных за дисциплиной компетенций**

| <b>Код</b>   | <b>Формулировка компетенции</b>   | <b>Этапы формирования компетенции</b>  |
|--------------|---|--|
| <b>ОПК-5</b> | способностью использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных;   | Должен знать основные методы обработки и представления экспериментальных данных при проведении исследований состава, структуры, физико-химических, оптических и спектральных свойств наноматериалов и наносистем.<br>Должен уметь использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных при проведении анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем.<br>Должен владеть навыками интерпретации полученных экспериментальных данных.                     |
| <b>ПК-2</b>  | способностью аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения | Должен знать физические принципы основных экспериментальных методов исследования материалов и структур, используемых в физике и технологии нанoeлектроники, условия и границы применения этих методов.<br>Должен уметь выбирать оптимальные методы исследования и диагностики необходимых свойств нано- и микро-систем.<br>Должен владеть методами эффективного поиска информации по современным методам исследований о перспективных направлениях развития устройств для изучения и анализа на- |

## 2 Реализация компетенций

### 1 Компетенция ОПК-5

**ОПК-5: способностью использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных**

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов. Этапы формирования компетенции, применяемые для этого виды занятий и используемые средства оценивания представлены в таблице 2.

**Таблица 2– Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания**

| 1. Состав                               | Знать  | Уметь   | Владеть  |
|---|--|---|--|
| <b>Содержание этапов</b>                | Знает основные методы обработки и представления экспериментальных данных при проведении исследований состава, структуры, физико-химических, оптических и спектральных свойств наноматериалов и наносистем        | Умеет использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных при проведении анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем.                            | Владеет навыками интерпретации полученных экспериментальных данных.  |
| <b>Виды занятий</b>                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Лекции;</li> <li>• Практические занятия;</li> <li>• Индивидуальные задания;</li> <li>• Групповые консультации</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Практические занятия;</li> <li>• Лабораторные работы;</li> <li>• Самостоятельная работа студентов</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Лабораторные работы</li> </ul>  |
| <b>Используемые средства оценивания</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Тест;</li> <li>• Контрольные работы;</li> <li>• Выполнение домашнего индивидуального задания;</li> <li>• Выполнение практических заданий;</li> <li>• Экзамен</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Оформление отчетности и защита лабораторных работ;</li> <li>• Выполнение практических заданий;</li> <li>• Конспект самостоятельной работы</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Выполнение лабораторных работ и защита отчетов;</li> <li>• Экзамен</li> </ul> |

Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции на всех этапах приведены в таблице 3.

**Таблица 3 – Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции по этапам**

| Показатели и критерии                        | Знать   | Уметь   | Владеть  |
|--|---|---|--|
| <b>Отлично (высокий уровень)</b>             | Обладает фактическими и теоретическими знаниями в пределах изучаемой области с пониманием границ применимости | Обладает диапазоном практических умений, требуемых для развития творческих решений, абстрагирования проблем | Контролирует работу, проводит оценку, совершенствует действия работы   |
| <b>Хорошо (базовый уровень)</b>              | Знает факты, принципы, процессы, общие понятия в пределах изучаемой области                                   | Обладает диапазоном практических умений, требуемых для решения определенных проблем в области исследования  | Берет ответственность за завершение задач в исследовании, приспосабливает свое поведение к обстоятельствам в решении проблем |
| <b>Удовлетворительно (пороговый уровень)</b> | Обладает базовыми общими знаниями   | Обладает основными умениями, требуемыми для выполнения простых задач  | Работает при прямом наблюдении   |

Формулировка показателей и критериев оценивания данной компетенции приведена в таблице 4.

**Таблица 4 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах**

| Показатели и критерии            | Знать  | Уметь  | Владеть  |
|----------------------------------|--|--|--|
| <b>Отлично (высокий уровень)</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>знает методы анализа и контроля свойств наноматериалов и наносистем;</i></li> <li>• <i>знает основные методы обработки и представления экспериментальных данных при проведении исследований</i></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>умеет использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных при проведении анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем</i></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>свободно владеет навыками интерпретации полученных экспериментальных данных</i></li> <li>• <i>свободно владеет разными способами представления результатов обработки экспериментальных данных в</i></li> </ul> |

|  |   |   |  |
|--|---|---|--|
|  | <i>состава, структуры, физико-химических, оптических и спектральных свойств наноматериалов и наносистем</i>   |   | <i>графической и математической форме</i>  |
| <b>Хорошо (базовый уровень)</b>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>знает методы анализа и контроля свойств наноматериалов и наносистем;</i></li> <li>• <i>знает основные методы обработки и представления экспериментальных данных при проведении исследований состава, структуры, физико-химических, оптических и спектральных свойств наноматериалов и наносистем</i></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>применяет основные приемы обработки и представления экспериментальных данных при проведении анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем</i></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>владеет навыками интерпретации полученных экспериментальных данных;</i></li> <li>• <i>владеет способами представления результатов обработки экспериментальных данных в графической и математической форме</i></li> </ul> |
| <b>Удовлетворительно (пороговый уровень)</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>ознакомлен с основными методами обработки и представления экспериментальных данных при проведении исследований состава, структуры, физико-химических, оптических и спектральных свойств наноматериалов и наносистем</i></li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>применяет основные приемы обработки и представления экспериментальных данных при проведении анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем</i></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>способен интерпретировать полученные экспериментальные данные с помощью преподавателя</i></li> </ul>   |

## 2 Компетенция ПК-2

**ПК-2: способностью аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения**

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов. Этапы формирования компетенции, применяемые для этого виды занятий и используемые средства оценивания представлены в таблице 5.

**Таблица 5– Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания**

| <b>2. Состав</b>                        | <b>Знать</b>   | <b>Уметь</b>   | <b>Владеть</b>  |
|---|--|--|---|
| <b>Содержание этапов</b>                | Знает физические принципы основных экспериментальных методов исследования материалов и структур, используемых в физике и технологии нанoeлектроники, условия и границы применения этих методов.  | Умеет выбирать оптимальные методы исследования и диагностики необходимых свойств нано- и микросистем.  | Владеет методами эффективного поиска информации по современным методам исследований о перспективных направлениях развития устройств для изучения и анализа наноструктур   |
| <b>Виды занятий</b>                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Лекции;</li> <li>• Практические занятия;</li> <li>• Индивидуальные задания;</li> <li>• Групповые консультации</li> </ul>                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Практические занятия;</li> <li>• Лабораторные работы;</li> <li>• Самостоятельная работа студентов</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Практические занятия;</li> <li>• Лабораторные работы;</li> <li>• Выполнение домашнего индивидуального задания</li> </ul>   |
| <b>Используемые средства оценивания</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Тест;</li> <li>• Контрольная работа;</li> <li>• Выполнение домашнего задания;</li> <li>• Выполнение практических заданий;</li> <li>• Экзамен</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Контрольные работы;</li> <li>• Выполнение практических заданий;</li> <li>• Оформление отчетности и защита лабораторных работ;</li> <li>• Конспект самостоятельной работы</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Защита практических заданий;</li> <li>• Выполнение лабораторных работ и защита отчетов</li> <li>• Оформление и защита индивидуального задания;</li> <li>• Экзамен</li> </ul> |

Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции на всех этапах приведены в таблице 6.

**Таблица 6 – Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции по этапам**

| Показатели и критерии                        | Знать   | Уметь   | Владеть  |
|--|---|---|--|
| <b>Отлично (высокий уровень)</b>             | Обладает фактическими и теоретическими знаниями в пределах изучаемой области с пониманием границ применимости | Обладает диапазоном практических умений, требуемых для развития творческих решений, абстрагирования проблем | Контролирует работу, проводит оценку, совершенствует действия работы   |
| <b>Хорошо (базовый уровень)</b>              | Знает факты, принципы, процессы, общие понятия в пределах изучаемой области                                   | Обладает диапазоном практических умений, требуемых для решения определенных проблем в области исследования  | Берет ответственность за завершение задач в исследовании, приспособливает свое поведение к обстоятельствам в решении проблем |
| <b>Удовлетворительно (пороговый уровень)</b> | Обладает базовыми общими знаниями   | Обладает основными умениями, требуемыми для выполнения простых задач  | Работает при прямом наблюдении   |

Формулировка показателей и критериев оценивания данной компетенции приведена в таблице 7.

**Таблица 7 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах**

| Показатели и критерии            | Знать  | Уметь  | Владеть  |
|----------------------------------|--|--|--|
| <b>Отлично (высокий уровень)</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>знает физические принципы основных экспериментальных методов исследования материалов и структур, используемых в физике и технологии нанoeлектроники,</i></li> <li>• <i>понимает условия и границы</i></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>демонстрирует базовые инженерные знания и понимание научных принципов, лежащих в основе методов анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем;</i></li> <li>• <i>обладает диапазоном практических умений, требуемых для сравнения и выбора</i></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>свободно владеет методами эффективно поиска информации по современным методам исследований о перспективных направлениях</i></li> </ul> |



|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
|   | <p>применения этих методов;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• знает тенденции развития методов характеристики материалов и структур нано- и микросистем.</li> </ul>  | <p>методов исследования и диагностики необходимых свойств нано- и микросистем для достижения поставленной цели</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• умеет объяснить и интерпретировать полученные исследовательские и экспериментальные результаты</li> </ul> | <p>развития устройств для изучения и анализа наноструктур</p>   |
| <p><b>Хорошо (базовый уровень)</b></p>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• знает физические принципы основных экспериментальных методов исследования материалов и структур, используемых в физике и технологии нанoeлектроники,</li> <li>• понимает условия и границы применения этих методов.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• умеет выбирать оптимальные методы исследования и диагностики необходимых свойств нано- и микросистем</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• владеет методами эффективно поиска информации по современным методам исследований о перспективных направлениях развития устройств для изучения и анализа наноструктур</li> </ul> |
| <p><b>Удовлетворительно (пороговый уровень)</b></p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• имеет представление об физических принципах основных экспериментальных методов исследования материалов и структур, используемых в физике и технологии нанoeлектроники</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• умеет решать простые задачи по выбору методов исследования и диагностики необходимых свойств нано- и микросистем</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• имеет навыки поиска информации по современным методам исследований</li> </ul>  |

### 3 Типовые контрольные задания

Для реализации вышеперечисленных задач обучения используются следующие материалы: тесты, контрольные работы, индивидуальные задания, практические задания, лабораторные работы, экзамен.

Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, в составе:

### 3.1 Тесты по следующим разделам:

- 1). Электрические и электрохимические методы исследований наноструктур.
- 2). Оптические методы исследования.
- 3). Рентгеновские методы исследования структуры и состава материалов.

*Примеры тестовых заданий:*

1. По какой формуле определяется электропроводность собственного полупроводника:  
а)  $\sigma = e n \mu_n$ ;    б)  $\sigma = e n \mu_p$ ;    в)  $\sigma = e n \mu_n + e n \mu_p$ ;    г)  $\sigma = J/\bar{E}$ .
2. Как называется группа эффектов, возникающих в полупроводнике при совместном воздействии на них электрического и магнитного полей:  
а) термомагнитные; б) термоэлектрические в) гальваномагнитные; г) тензорезистивные.
3. Какова природа появления полос в УФ спектрах поглощения кристаллов:  
а) изменение колебательной энергии молекул;  
б) переходы между внешними электронными состояниями;  
в) изменение энергетического состояния ядер;  
г) переходы между внутренними электронными состояниями.
4. Что такое люминесценция:  
а) тепловое излучение твердых тел;  
б) отражение и преломление твердым телом света;  
в) свечение твердых тел при протекании через них электрического тока;  
г) избыточное над тепловым, свечение твердых тел.

### 3.2 Контрольные работы:

Тема контрольной работы № 1: Исследование электрических и оптических свойств наноструктур.

Тема контрольной работы № 2: Рентгеновские и ядерно-физические методы анализа.

### 3.3 Выполнение домашних индивидуальных заданий:

Примерная тематика домашних индивидуальных заданий:

- Разработка фотоприемного устройства для спектроскопии.
- Метод исследования оптических свойств тонких слоев SiO<sub>2</sub> в инфракрасной области спектра.
- Исследование МДП наноструктур методом вольт-фарядных характеристик.
- Разработка устройства для лазерной эллипсометрии.
- Разработка устройства для рамановской спектроскопии.
- Устройство для оптической спектроскопии.
- Исследование гранулометрического состава нанопорошков люминофора.

- Исследование полупроводниковых наногетероструктур GaN.
- Исследование многослойных тонкопленочных наноструктур металл- SiO<sub>2</sub>-металл.
- Исследование гранулометрического состава нанопорошков люминофора.
- Оценка погрешности измерений параметров нанообъектов методом растровой электронной микроскопии.
- Оценка погрешности измерений параметров нанообъектов методом ИК Фурье-спектроскопии.
- Оценка погрешности измерений параметров нанообъектов методом Рамановской спектроскопии.
- Оценка погрешности измерений параметров нанообъектов методом спектральной эллипсометрии.

#### **3.4 Темы практических занятий:**

- 1) Расчет удельного сопротивления и концентрации носителей заряда.
- 2) Определение концентрации и подвижности носителей заряда методом Холла.
- 3) Определение удельного сопротивления и концентрации носителей заряда методом Ван дер Пау.
- 4) Определение удельного сопротивления эпитаксиальных структур четырехзондовым методом.
- 5) Определение концентрации свободных носителей заряда методом вольт-фарядных характеристик.
- 6) Определение эффективной массы.
- 7) Определение свойства кристаллов.
- 8) Определение концентрации носителей методом ИК-эллипсометрии.
- 9) Просветляющие покрытия.
- 10) Отражение поляризованного света.
- 11) Люминесценция.
- 12) Эллипсометрия.
- 13) Рентгеновские методы исследования кристаллической структуры.
- 14) Методы обратного резерфордского рассеяния и масс-спектроскопии вторичных ионов.

#### **3.5 Темы лабораторных работ**

- 1) Исследования профиля распределения концентрации в полупроводниковых наноструктурах.
- 2) Исследование оптических и геометрических свойств тонкослойных диэлектрических материалов с помощью спектральной эллипсометрии.
- 3) Исследование состава и структуры тонких пленок с помощью электронной растровой микроскопии.
- 4) Исследование топологии наноструктур с помощью оптической и атомно-силовой микроскопии.

### **3.6 Темы для самостоятельной работы**

- 1) Туннельная микроскопия.
- 2) Атомно-силовая микроскопия.
- 3) Образование резерфордовского рассеяния.
- 4) Аннигиляция позитронов.

### **3.7 Экзаменационные вопросы:**

- 1 Физические характеристики поверхности материалов и методы их исследования.
- 2 Рентгеноструктурный анализ.
- 3 Электрофизические характеристики материалов и их измерение.
- 4 Электронная ОЖЕ – спектроскопия.
- 5 Тонкие диэлектрические пленки и методы измерения их параметров.
- 6 Масс – спектроскопия вторичных ионов.
- 7 Квантоворазмерные эффекты в тонкопленочных структурах и методы их исследования.
- 8 Электронная и оптическая микроскопия.
- 9 Методы измерения профиля распределения элементов в тонкопленочных структурах.
- 10 Туннельная и силовая микроскопия.
- 11 Методы диагностики наноструктур.
- 12 Оптическая ИК – спектроскопия.

## **4 Методические материалы**

Для обеспечения процесса обучения и решения задач обучения используются следующие материалы:

- методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций, в составе:

Методические материалы:

### **4.1 Основная литература**

4.1.1. Смирнов С.В. Методы и оборудование контроля параметров технологических процессов производства наногетероструктур и наногетероструктурных монолитных интегральных схем: учебное пособие. - Томск: ТУСУР, 2010. - 115 с. (6)

4.1.2. Смирнов С.В. Методы и оборудование контроля параметров технологических процессов производства наногетероструктур и наногетероструктурных монолитных интегральных схем: учебное пособие. – Томск: ТУСУР, 2010. – 115 с. – [электронный ресурс]. – <https://edu.tusur.ru/publications/535>

4.1.3. Смирнов С.В. Методы исследования материалов и структур электроники: учебное

пособие. – Томск: ТУСУР, 2007. – 170 с. (96)

## **4.2 Дополнительная литература**

4.2.1. Брандон Д., Капран У. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля: Учебное пособие для вузов: Пер. с англ.; ред. Пер.: С.Л. Баженов; авт. Дополнения: О.В. Егорова. – М.: Техносфера, 2006. – 377 с. (5)

4.2.2. Вудраф Д., Делчар Т. Современные методы исследования поверхности: научное издание. – М.: Мир, 1989. – 564 с. (5)

4.2.3. Анализ поверхности методами оже- и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии : Монография: Пер. с англ. / М.П. Сих [и др.]; ред.: Д. Бриггс, М.П. Сих; ред. Пер.: В.И. Раховский, И.С. Рез. – М.: Мир, 1987. – 598 с. (2)

4.2.4. Вилков Л.В., Пентин Ю.А. Физические методы исследования в химии: Резонансные и электрооптические методы: учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1989. – 288 с. (1)

## **4.3 Учебно-методические пособия и программное обеспечение**

4.3.1. Смирнов С.В. Методы исследования материалов и структур электроники: лабораторный практикум для студентов специальности 210104 «Микроэлектроника и твердотельная электроника». – Томск: ТУСУР, 2007. – 58 с. (50)

4.3.2. Смирнов С.В. Методы и оборудование контроля параметров технологических процессов производства наногетероструктур и наногетероструктурных монолитных интегральных схем: лабораторный практикум. – Томск: ТУСУР, 2010. – 97 с. – [электронный ресурс]. – <http://edu.tusur.ru/training/publications/536>

4.3.3. Методы исследования материалов и структур электроники [Текст] : учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе для студентов специальности 210104.65 "Микроэлектроника и твердотельная электроника", направления 210100.62 "Электроника и микроэлектроника", направления 222900.62 "Нанотехнологии и микросистемная техника", 210100.62 "Электроника и наноэлектроника", 210600.62 "Нанотехнология" / С. В. Смирнов, И. А. Чистоедова ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (Томск), Кафедра физической электроники. - Томск : ТУСУР, 2012. - 52 с. (45)